

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平9-502292

(43) 公表日 平成9年(1997)3月4日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I
G 0 5 D 3/12	3 0 5	0360-3H	G 0 5 D 3/12
7/06		0360-3H	7/06
			3 0 5 Z
			Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願平7-507565  
(86) (22) 出願日 平成6年(1994)7月14日  
(85) 翻訳文提出日 平成8年(1996)2月23日  
(86) 国際出願番号 PCT/US94/07914  
(87) 国際公開番号 WO95/06276  
(87) 国際公開日 平成7年(1995)3月2日  
(31) 優先権主張番号 08/112, 694  
(32) 優先日 1993年8月25日  
(33) 優先権主張国 米国 (US)  
(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), BR, CA, CN, J P, R U

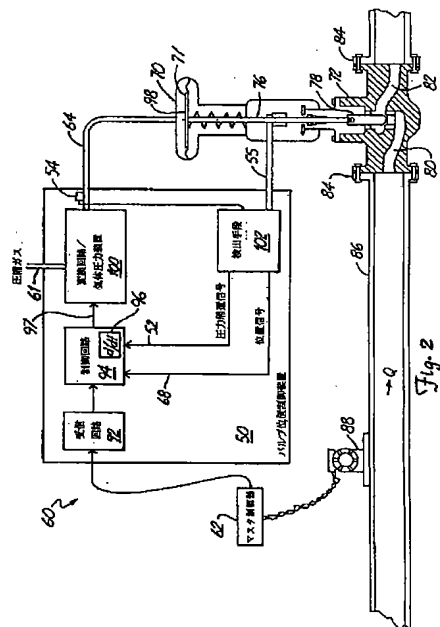
(71) 出願人 ローズマウント インコーポレイテッド  
アメリカ合衆国 55344 ミネソタ州、エ  
デン プレイリー、テクノロジー ドライ  
ブ 12001  
(72) 発明者 レンズ, ガリー エー.  
アメリカ合衆国 55346 ミネソタ州、エ  
デン プレイリー、ミストラル レイン  
6536  
(72) 発明者 ブラウン, グレゴリー シー.  
アメリカ合衆国 55361 ミネソタ州、ミ  
ネトンカ、ジョゼフ ポイント ロード  
5921  
(74) 代理人 弁理士 平木 道人 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧力フィードバック、動的補正、および診断機能を備えたバルブ位置制御装置

(57) 【要約】

本発明では、バルブ位置制御装置 (50) はマスタ (62) からセットポイントを受け取り、バルブ (72) を制御するバルブアクチュエータ (70) へ制御圧力を供給する。バルブ位置制御装置 (50) 内の検出回路 (102) は、バルブ (72) の位置および制御圧力を検出する。バルブ位置制御装置 (50) 内の制御回路 (94) は、検出された圧力および位置の双方を利用して、制御圧力を発生させる気体圧力部 (100) へコマンド出力を供給する。



【特許請求の範囲】

1. バルブと機械的に連結されたバルブアクチュエータへ制御圧力を供給するバルブ位置制御装置において、

    所望のバルブ位置を表す入力を受信するために通信ループに接続された受信手段と、

    プロセスを表す複数の状態変数であって、その一つはバルブ位置を表し、他の一つは制御圧力を表す状態変数を出力する検出手段と、

    加圧された空気源およびコマンド出力を受入れ、コマンド出力の関数として制御圧力を発生する変換手段と、

    検出手段および受信手段と接続され、所望のバルブ位置、検出された位置、および検出圧力の時間微分値の関数としてコマンド出力を提供する制御手段とを具備したバルブ位置制御装置。

2. 前記変換手段は、直線磁気アクチュエータおよび偏向ジェットパイロットステージを有する気体圧力変換手段を具備したことを特徴とする請求項1に記載のバルブ位置制御装置。

3. 前記制御手段は、検出された状態変数の関数として変化する少なくとも一つのPID定数を有する、適応制御アルゴリズムを利用することを特徴とする請求項1に記載のバルブ

位置制御装置。

4. バルブ位置を表す前記状態変数は温度補正されることを特徴とする請求項1に記載のバルブ位置制御装置。

5. 前記検出手段は、力を検出するセンサをさらに具備したことを特徴とする請求項4に記載のバルブ位置制御装置。

6. 検出手段に接続されてバルブの特性を格納し、格納したバルブ特性および少なくとも一つの状態変数の関数として診断出力を提供する診断手段をさらに具備したことを特徴とする請求項1に記載のバルブ位置制御装置。

7. バルブと機械的に連結されたバルブアクチュエータへ制御圧力を供給するバルブ位置制御装置において、

所望のバルブ位置を表す入力を受信するために通信ループに接続された受信手段と、

プロセスを表す複数の状態変数であって、その一つはバルブ位置を表し、他の一つはバルブを駆動するために必要な力を表す状態変数を出力する検出手段と、

加圧された空気源およびコマンド出力を受入れ、コマンド出力の関数として制御圧力を発生する変換手段と、

検出手段および受信手段と接続され、所望のバルブ位置、検出された力の時間微分値、および検出位置の関数としてコ

マンド出力を提供する制御手段とを具備したバルブ位置制御装置。

8. バルブと機械的に連結されたバルブアクチュエータへ制御圧力を供給し、通信ループを利用してマスタと通信するバルブ位置制御装置において、

所望のバルブ位置を表す入力を受信するために通信ループに接続された受信手段と、

バルブに影響を及ぼす物理的パラメータとして、バルブ位置を含む物理的パラメータ式を検出する検出手段と、

検出手段および受信手段と接続され、所望のバルブ位置および検出されたバルブ位置の関数としてコマンド出力を提供する制御手段と、

加圧された空気源およびコマンド出力を受入れ、コマンド出力の関数として制御圧力を発生する変換手段と、

物理的パラメータの一つによって影響を受けるバルブ特性を格納し、かつ検出された物理的パラメータ式のうちの選択されたひとつを受信し、検出された物理的パラメータおよび格納されたバルブ特性の関数としてコマンド出力を補正する補正手段とを具備したバルブ位置制御装置。

9. 前記受信手段はループを介してバルブ特性を受信するよ

うに適合され、格納されるバルブ特性はバルブ位置の関数としてバルブを流れる流量であり、補正手段は検出された流量および格納された流量特性の関数としてコマンド出力を補正することを特徴とする請求項8に記載のバルブ位置制御装置

。

10. 前記検出手段はバルブを駆動させるために必要な力を検出するセンサを有し、格納される特性は位置の関数であるバルブの力特性であり、前記補正手段は検出された力および格納された力特性の関数としてコマンド出力を補正することを特徴とする請求項8に記載のバルブ位置制御装置。

11. 検出された位置に関する値は温度の影響を補償されることを特徴とする請求項8に記載のバルブ位置制御装置。

12. 前記検出された物理的パラメーター式の一つは制御圧力であり、この制御圧力は空気バネの影響を補償されることを特徴とする請求項8に記載のバルブ位置制御装置。

25. バルブのバネと機械的に連結されたアクチュエータのダイアフラムへ制御圧力を出力するバルブ位置制御装置であって、前記バルブ位置制御装置が弁棒を第1の制御圧力およびこれに相応する第1の弁棒位置と第2の制御圧力およびこれに相応する第2の弁棒位置との間で駆動するためにバルブのバネが予荷重を必要とするような、バルブ位置制御装置に

おいて、

第1および第2の制御圧力、並びにこれらに相応した弁棒位置を表す情報を受信する手段と、

バルブ位置および制御圧力を検出する手段と、

空気源を供給され、コマンド出力の関数として制御圧力を発生する変換手段と

、

検出された位置および制御圧力を受信し、第1および第2の制御圧力、ならびにこれらの制御圧力の間の値に相応するコマンド出力を供給し、予定の弁棒位置において検出された制御圧力を格納し、格納された制御圧力、第1および第2の制御圧力、並びにこれらに相応した位置の関数として予荷重力を供給するベンチセッティング手段と、

マスタへ予荷重力を送信する手段とを具備したことを特徴とするバルブ位置制御装置。

26. 前記ベンチセッティング手段は、次式にしたがってバネ定数を演算することを特徴とする請求項25に記載のバルブ位置制御装置。

$$K_S = \{ (P_S - P_R) A_E - F_S - F_D \} / (Y_S - Y_O)$$

但し、 $Y_S$ はストローク量が100%のときのバルブ位置、 $Y_O$ はストローク量が0%のときのバルブ位置、 $A_E$ はダイアフラムの実効面積、 $P_S$ はストローク量が100%のときの制御圧力、 $P_R$ はストローク量が0%のときの制御圧力、 $F_S$ は静止摩擦力、 $F_D$ は運動摩擦力である。

27. 前記バネ定数はアクチュエータ内の空気バネの影響を補償されることを特徴とする請求項26に記載のバルブ位置制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

### 発明の名称

圧力フィードバック、動的補正、および診断機能を  
備えたバルブ位置制御装置

本特許の明細書の説明部分は、著作権保護の対象となる内容を含んでいる。米国特許・商標庁の特許ファイルや記録のとおりの特許文献や開示を、誰もがそっくり複製することに対しては、著作権の所持者は異議を唱えられないが、その他については全ての著作権が留保される。

### 発明の背景

本発明は、プロセス変数に影響を及ぼすバルブを制御するためのバルブ位置制御装置に係り、特に、マイクロプロセッサを備えたバルブ位置制御装置に関する。

品質検査の必要性から、バルブ位置制御装置が動作する際の精度、動的性能および安定性を改善すると同時に、リアルタイムで診断結果を制御室へ提供することにより、事故による休業や、不必要に計画されたバルブ保守に煩わされることなく、保守やプラント停止の時期を予測できるようにしたいという要望がある。

プロセス制御産業では種々のタイプの位置制御装置が利用

されている。ある種の位置制御装置はアクチュエータと機械的に連結されているが、他の装置はアクチュエータを内蔵している。アクチュエータはバルブを物理的に位置決めするための手段であり、それは電気式、油（流体）圧式または空気（気体）圧式のいずれであっても良い。電気式アクチュエータは、バルブを位置決めするためのモータを制御する電流信号を有する。油圧式アクチュエータはバルブを位置決めするために、油の充填された手段を有する。

プロセス制御産業では特に周知のように、空気圧式アクチュエータはピストンまたはスプリングとダイアフラムとを組み合わせで構成されている。用途次第で、また制御の統合レベルに応じて、位置制御装置は所望のバルブ位置を表す各種型式の入力を制御装置から受入れる。第1の型式は4～20 mAまたは10～50 mAの電流入力であり、第2の型式は電流信号に重畳されるデジタル信号であ

り、第3の型式は“フィールドバス (Fieldbus)”あるいは“モッドバス (Modbus : 登録商標)”などの完全なデジタル入力である。これとは別に、位置制御装置は所望のバルブ位置を表す3～15PSI (ポンド/平方インチ) の空気圧入力を受け取るかもしれない。

同様に、統合レベルや用途に応じて、位置制御装置は異なる型式の出力を有する。ある種の位置制御装置はモータへ電流出力を供給するが、他の位置制御装置は応答の早い油圧信号を出力する。最も標準的な位置制御装置の出力は0～200PSIの空気圧である。本明細書で用いられる位置制御装置という文言には、適用できるならば、これら全ての分野の装置に搭載されるものや、各種の入力および出力や、これらに関連したバルブ位置決め用の手段を含んでいる。

バネとダイアフラムで構成された最も標準的はアクチュエータでは、ダイアフラムは位置制御装置から出力された圧力で撓み、その結果、バルブ位置を変化させるための制御弁棒や回転部材に力やトルクがそれぞれ作用する。ほとんど全ての位置制御装置は、位置信号を出力するために機械式または電子式の位置センサを具備し、一部の位置制御装置は、位置信号をマイクロプロセッサで構成された自身の制御部へフィードバックする。バルブを位置決めするための力を提供する固有の手段が何であるかにかかわらず、マイクロプロセッサで用いられる制御アルゴリズムを有する位置制御装置は公知である。現存の位置制御装置はループの動的応答性は改善するが、帯域幅は制限されている。このために、それらの用途

は、タンク内のレベル (液面) や反応装置内の温度を制御するような、低速制御ループに制限されてしまう。

バルブの理想的な動的位置制御を実現する上での障害の一つは、バルブ特性 (本明細書中では、流量と弁棒位置または角度との関係と定義される) が公表されたバルブ特性から5%程度外れることである。このような理想的ではない特性として代表的なものは、制御バルブの3つの主要な特性、すなわち直線性、同一割合、および急速開弁である。さらに、回転式あるいはスライド式の弁棒を用いるバルブでは、アクチュエータによってバルブに与えられる力とバルブを通過する

流量とが非直線関係を示すことがあり、本来的に直線性を有する位置制御装置で制御することは、たとえ本発明の弁棒に関する帰還技術を用いたとしても難しい。

実際、ロータリバルブではバルブ内のボール／パタフライ部分に、流れによって誘起される動的トルクが作用するので、流量対トルク関数が単調でなくなる。バルブ部材は日毎に摩耗するので、これによっても同様に制御ループが理想的ではなくなる。実際には、ループがあらゆる状態で安定状態を保つように摩耗を補償するために、新たに設置されるループは“脱調”させられるか、あるいは故意に理想的ではない制御

定数が割り当てられる。静的および動的制御の精度に関するこれらの問題が組み合わさるので、バルブに関連したループの動作停止は産業にとって好ましくなく、かつ費用もかさむ。

電力研究所では、各制御バルブの寿命がわずか1週間でも伸びれば、電力事業体は毎年4億米ドルを節約できると試算している。大部分のプラントは、費用がさらにかさむ上に危険な緊急停止を避けるために、定期点検でバルブを監視して修理したり、摩耗したパッキングやバルブの部品を交換するための操業停止を計画する。バルブの正常（完全）性を監視する診断システムが知られているが、これは一般的に、プロセスから切り離されたバルブの問題点を診断するように構成されている。リアルタイムで制御する1つのバルブが診断能力を制限してきた。

位置制御装置、制御バルブ、およびアクチュエータは、ベンチセッティングと呼ばれる、時間を浪費する行程で組み立てられて装置内に適正に組み込まれる。ベンチセットの間中、オペレータはバルブの最大移動位置（ストローク位置と呼ばれる）、最小移動位置（ゼロと呼ばれる）、限界停止、およびスティフネス・パラメータを手動で設定する。各設定は相互に独立していないので、上記工程は繰り返しのになる。

したがって、帯域幅が向上し、動的位置決め精度が改善され、かつバルブやアクチュエータ全性に関する情報を提供するリアルタイムでの診断も可能な、マイ



クロプロセッサで制御されてベンチセットを簡単に行なえるバルブ位置制御装置が必要である。

#### 発明の要約

本発明では、バルブ位置制御装置は、バルブに機械的に連結されたバルブアクチュエータへ、バルブの位置を表す信号、コントローラから受信した所望の位置のセットポイント、および検出された制御圧力の時間微分値の関数として制御圧力を供給する。位置制御装置は、セットポイントを受け取るために電流ループに接続された受信手段と、バルブ位置および制御圧力を検出する検出手段と、供給された空気圧源を、位置制御装置内で制御回路から受け取ったコマンド出力の関数として、制御圧力に変換する変換手段とを含んでいる。本発明の他の実施形態では、バルブ位置制御装置は、バルブの性能に関する状態変数一式を検出する検出回路を含む位置フィードバック装置を含む制御回路を有している。位置制御装置は、バルブの特性を格納し、この格納されたバルブ特性および選択された状態変数の一つの関数として出力を提供する診

断回路を含んでいる。格納されるバルブ特性の例としては、位置と流量との関係、トルクと位置との関係、およびトルクと流量との関係曲線がある。

本発明のさらに他の実施形態では、位置制御装置は、アクチュエータのバネに加える適切なバネ予荷重力を示す出力を提供するために、特定の制御圧力およびこれらに相応した位置をサンプリングしている間に、制御圧力を初期の制御圧力と最終の制御圧力との間で変化させ、さらに初期の制御圧力へ戻すベンチセット制御回路を含んでいる。本発明のさらに他の実施形態では、バルブ位置制御装置は、コマンド出力の関数として制御圧力を出力する変換回路へコマンド出力を提供する位置フィードバックを実行する制御回路を有している。位置制御装置は、バルブの性能に関する状態変数一式を検出する検出回路を含んでいる。位置制御装置は、物理的パラメータの一つによって影響されるバルブ特性を格納し、検出された物理的パラメータおよび格納されたバルブ特性の関数としてコマンド出力を動的に補償する補正回路を含んでいる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、従来技術のバルブ位置制御装置を含む制御ループの制御フローチャートである。

図 2 は、マスタおよび、バルブと機械的に連結されたアクチュエータに接続された、本発明によるバルブ位置制御装置のブロック図である。

図 3 は、マスタおよび、バルブと機械的に連結されたアクチュエータに接続された、本発明によるバルブ位置制御装置のブロック図である。

図 4 は、急速開弁され、流量変化が直線的かつ同一割合である弁の弁棒位置を流量の関数としてプロットした図である。

図 5 A は、バタフライ弁の単位トルクを角度位置の関数としてプロットした図であり、5 B は、パイプ内でのバタフライ弁の平面図である。

図 6 は、マスタおよび、バルブと機械的に連結されたアクチュエータに接続された、本発明によるバルブ位置制御装置のブロック図である。

図 7 は、バルブ位置と流量との関係を、弁座の摩耗具合の関数としてプロットした図である。

図 8 は、アクチュエータのトルクと移動角距離との関係を、弁座の摩耗具合の関数としてプロットした図である。

図 9 は、携帯型通信機および、バルブと機械的に連結されたアクチュエータと通信する、本発明によるバルブ位置制御

装置のブロック図である。

好ましい実施例の詳細な説明

一般的に、位置制御装置はレベル（液面、水面）や温度のような比較的低速のプロセス制御ループ内で当該ループの性能を改善するために利用される。従来技術の典型的な電気空気式位置制御装置の制御ブロックでは、図 1 に示したように、内側カスケード（縦続）ループ 20 は、制御器のセットポイント 24 と位置センサのフィードバック 26 との差を発生する誤差発生器 22、電流／圧力変換器 28、バルブ 30 に接続されたアクチュエータ、および位置センサ 32 を具備している。符号 34 で一括して示した外側ループ 34 は、所望のセットポイント 3

8とプロセス42の状態を代表する測定結果40との差を演算する誤差発生器36、ならびにカスケードループ20およびプロセス42に直列接続された制御器44を具備している。

図1に示した全体のシステムは、通常、カスケードループ20として示した位置制御装置の帯域幅が、外側ループ34の帯域幅の少なくとも4倍以上であれば安定する。調整の難しいループでは、その率を高く設定しなければならない。従来技術のループは、動作を広い条件範囲で安定させるために、

故意に脱調されるか、あるいは理論上（理想的）とは異なるように調整される。さらに、このような調整はオーバーシュートを最小限に抑えるためにも好ましい。しかしながら、一般的な弱減衰システムの比例帰還を備えた2次のシステムでは、帯域幅が広がるとオーバーシュートも増える。

図2に示したような、本発明に基づいて作成されたバルブ位置制御装置50では、圧力帰還信号52の導関数は、帯域幅に影響を及ぼすことなくオーバーシュートを減少させるために必要なレート帰還を供給する。すなわち、プロセスループ内でのダンピング量によって良好に制御されたオーバーシュート量は、図1に示したループとは異なり、バルブ位置制御装置50の帯域幅を狭めることなく減ぜられる。図2において、符号60で代表して示したプロセスループは、制御室内に設けられて所望のバルブ位置信号をバルブ位置制御装置50へ2線式電流ループで送出するマスタ62を含んでいる。なお、電流ループは2線式に限らず、3線式あるいは4線式電流ループ等の他の伝達ループであっても良い。

位置制御装置50は、圧縮ガス61の供給を受けると、制御圧力64を、マスタ62から送出される所望のセットポイントおよび2つの変量、すなわち制御圧力信号52の導関数

と検知された位置信号68の関数として出力する。制御圧力64は、弁棒の直線動作によって制御されるバルブ72と機械的に連結されたアクチュエータ70へ圧縮空気を供給する。なお、本発明ではバルブ72の代わりにロータリーバルブを用いても良い。アクチュエータ70は、制御圧力用の圧縮空気によって押され

ると弁棒 76 を下方へ推進させるように撓むダイアフラム 71 を具備している。弁棒 76 は弁プラグ 78 に固着され、弁プラグ 78 が完全に閉じられると第 1 通路 80 と第 2 通路 82 との間の流れが止まる。バルブ 72 は流量 Q が流れるパイプ 86 とフランジ 84 を介して連結されている。送信機 88 は流量 Q を測定し、流量を表す信号をマスタ 62 へ送信する。

位置制御装置 50 内では、受信回路 92 が 4 ~ 20 mA の信号をマスタ 62 から受け取るが、携帯用通信機からその信号を受け取るようにしても良い。電流の大きさは所望のバルブ位置を表すが、センサ選択コマンドおよびデータを含むデジタル情報が、例えば“HART”（登録商標）のようなプロトコルに従って、あるいは“DE”，“BRA IN”（登録商標），“Infinity”，または“Mod bus”（登録商標）等のデジタルプロトコルを用いて電流上に重畳

されるようにしても良い。臨界制御のために、位置信号 68 はマイクロプロセッサ内で温度補償される。代案として、マスタ 62 は、例えば“フィールドバス（Fie i l b u s）”のような完全なデジタルプロトコルを位置制御装置 50 との通信に利用する。

このような構成によれば、他の構成よりも柔軟性が向上し、かつ接続の簡便化が達成される。なぜならば、マスタは変量の必要性を認識する必要がなく、またプロセス変量を要求する必要もなく、その結果、変量を要求している現場装置に当該変量を送信する必要がなくなるからである。このように、プロセス変量が送信機 88 と位置制御装置 50 との間で直接的に伝送されるようにすれば、ループ 60 内での遅延が大幅に減少し、位置制御装置 50 を例えば流量制御のような高速制御ループへ適用できるようになる。

制御回路 94 はコマンド出力 97 を、回路 92 から出力された所望のセットポイント、位置信号 68、および圧力信号 52 の関数として出力する。回路 94 内の時間微分回路 96 はレイト帰還信号、換言すれば圧力信号 52 を時間で微分した導関数を、回路 94 内の制御アルゴリズムのために出力する。本発明の他の実施例では、圧力信号は診断および／また

は動的な誤差補正信号として有用なので、圧力信号をレイト帰還信号として用いることは好ましが、力あるいはトルク信号でも足りる。制御回路 94 は、低消費電力の CMOS マイクロプロセッサ、あるいはその他の、PID 定数を精密に調整するために圧力、位置、力、パッキング、および弁座の摩耗などに関する検出された有効信号を利用する、適応性のある制御アルゴリズムを利用することによって、電力消費や帯域幅が改善された適宜の技術で構成することが望ましく、これによりループ脱調が除去される。

位置制御装置 50 は、もっぱら直流 10～15 V、4～20 mA（フィールドバス用では 9 V、9 mA）をマスタ 62 から供給されて動作するので、本発明の全ての実施例において電力消費が関心事となる。このため、位置制御装置内のデジタル回路が動作する箇所での静電容量および周波数は最小にされなければならない。静電容量および周波数に関する懸念の他にも、位置制御装置 50 は、共に 4～20 mA で動作する圧力変換器および空気位置制御装置へ電流を供給するための電力を最小にする。この結果、従来は最大で 40 mA を消費していたバルブ制御が、今では最大でも 20 mA を消費するに過ぎない。変換回路／気体圧力装置 100 は 0

～200 PSI の圧縮ガス 61 を供給され、本発明と同一の譲渡人が所有しているブラウン（Brown）の米国特許第 4534376 号に開示されたローズマウント社製の電流／圧力変換装置 3311 のような、相互に直線的な磁気式アクチュエータおよび偏向ジェットパイロットステージを利用して、回路 94 から出力される制御信号の関数として制御圧力 64 を供給する。検出手段 102 は、圧力センサ 54 および機械式位置センサ 55 から出力される各信号を検出し、これをデジタル信号に変換して制御回路 94 へ出力する。

非減衰の固有周波数（したがって、帯域幅）に影響を与えることなくオーバーシュートを減少させるという第 1 の効果に加えて、レイト帰還がもう一つの効果をもたらす。各アクチュエータは、広範囲の空気コンプライアンスを有する、符号 98 で代表して示した可変の内蔵型の負荷ボリュームを有している。このように低流量バルブと共に利用され、直径の比較的小さいアクチュエータは、大型の

制御弁と共に用いられるアクチュエータよりもコンプライアンスが小さい。従来技術の位置制御装置では、変動する負荷ボリュームに適合してその安定性を保証するために、制御アルゴリズムにおけるゲインは手動で調整されなければならない。しかしなが

ら、本発明では、大きなアクチュエータのコンプライアンスに合わせてゲインが予め調整されており、小さなコンプライアンスに対してはゲイン調整が不要である。その理由は、小さなアクチュエータではレイト帰還量が必然的に小さいからである。

位置制御装置が小さな負荷ボリュームを介してアクチュエータと連結されていると圧力の変化率が大きくなるので、位置制御装置の実効ループゲインは、過度のオーバーシュートやリングング（過渡的振動）、そしてリミットサイクリングを防止するために過渡期間中は減ぜられる。位置制御装置が大型の負荷ボリュームでアクチュエータと連結されていると圧力の変換比率は小さくなるので、位置制御装置の実効ループゲインは、過渡期間中高いままである。圧力のレイト帰還量を制御アルゴリズムの比例ゲインおよび積分動作と適正にバランスさせることにより、アクチュエータの負荷ボリュームはオーバーシュートを最小に保って帯域幅を最小にしながら、広い範囲で調節される。

図3において、制御ループ200はパイプ202内の流量Qを制御する。送信機204は流量を検出し、この信号を一对の燃線ワイヤでマスタ制御器206へ伝送する。制御器

206は、信号を他の一对の燃線ワイヤ208でバルブ位置制御装置210へ伝送する。位置制御装置210は、アクチュエータ216を介して制御圧力212をバルブ214へ供給する。アクチュエータ216内のダイヤフラム220は制御圧力によって撓み、流れQ内に設けられた弁プラグ224に固着された摺動弁棒222にバネ力を作用させる。この結果、プラグ224が更に推進されて通路を塞ぎ、流量Qが減ぜられる。流量を増やすためには、バネ力によってプラグ224が上昇して再設定されるように制御圧力が排気される。

位置制御装置 210 は受信回路 228、制御回路 230、変換回路／気体圧力装置 232、検出回路 234、ならびに補正回路 236 を含んでいる。検出回路 234 は、制御圧力を検出するための圧力センサ 238、バルブ位置を検出するために弁棒 222 と結合された機構部分 240、および力またはトルクを検出するためのロードセル 242 にそれぞれ適当に接続されている。しかしながら、力あるいはトルクは、コストおよび電力消費を低減させると共に、ロードセル 242 に関連する構成を簡素化するために、好ましくはアクチュエータのダイアフラム面積で圧力センサ 238 の出力を除算することによって検出される。精密制御の要求に応じる

ため、力に関する検出信号はダイアフラムとケースとの間の空気の体積によって得られる空気バネ効果によって修正される。本発明の全ての実施例においては、可動連結部を有せずに連続的な信号出力が得られる非接触位置センサ、例えば LVDT センサ、RVDT センサ、あるいはホール効果センサが最も好ましい。マルチプレクサ回路 246 は、受信回路 228 から受け取ったコマンドに基づいて、入力されたセンサ信号のいずれか 1 つを選択的に補正回路 236 へ供給する。

受信回路 228 はマスタ 206 から 4～20 mA の信号を受け取るが、携帯用通信機から信号を受け取るようにしても良い。回路 228 は、実質的に回路 92 と同様に動作する。制御回路 230 は、所望のバルブ位置を代表するデジタル信号を回路 228 から受け取ると共に、バルブ位置を代表する、検出された位置信号 229 を受け取ると、電気制御信号 231 を、回路 230 内にセットされた適宜の PID 定数の関数として供給する。変換回路／気体圧力装置 232 は、0～200 PSI で供給される空気を受け入れ、標準的な電流－圧力変換技術、例えば前記ローズマウント社製の電流／圧力変換装置 3311 を用いて、位置制御装置のノズルに制御圧力 212 を発生させる。

補正回路 236 は、低消費電力の CMOS マイクロプロセッサで構成され、バルブ 214 の特性を記憶するための不揮発性記憶手段 250 を内蔵していることが望ましい。第 1 のモードでは、バルブ 214 に固有の一般的な情報として、例

例えば全開状態の位置や全閉状態の位置、あるいは制御圧力 2 1 2 の許容最高および最低圧力が記憶手段 2 5 0 に格納される。前者のデータはバルブの過剰駆動あるいは駆動不足を補正し、後者のデータは、過度の高加圧または加圧不足を補正する。

第 2 のモードでは、バルブ 2 1 4 に関して実験室でテストされた流量およびトルクの測定値が補正され、受信回路 2 2 8 を介してマスタ 2 0 6 から記憶手段 2 5 0 へ転送保存される。あるいは、測定された特性を E E P R O M のような不揮発性のメモリに記憶し、その後、これを位置制御装置 2 1 0 に読み込ませるようにしても良い。このようにして、位置決めはプロセスで使用されるバルブの特種な非線形特性に適合される。

非常に精密な位置制御で利用される第 3 の動作モードでは、最初に流量およびトルク特性が記憶手段 2 5 0 に記憶され、その後、バルブが作動している間に動的に更新される。この

モードでは、データが各動作ポイントでサンプリングされるのにつれて、測定された特性（データ）は各ポイントごとに記憶手段 2 5 0 に保存され、その後に更新される。これら全てのモードにおいて、補正回路 2 3 6 は、記憶されている特性を検出手段 2 3 4 によって実際に検出された物理的パラメータと比較し、比較結果に応じてコマンド出力 2 3 1 を補償する。記憶された諸特性は、バルブが作動している間、動的に更新される。

このように格納される特性の一つは、位置の関数としてバルブ 2 1 4 を通過する流量である。この流量は次式で与えられる。

$$Q = C \cdot (DP / SG)^{1/2}$$

ここで  $Q$  は流量、 $C_v$  はバルブ係数、 $DP$  はバルブの両側での圧力差であり、また  $SG$  はパイプ内の流体の比重である。図 4 の符号 A, B, C は、それぞれ急速開放弁、直線開放弁、および等パーセント弁の、3 種類の弁の一般的な流量と弁棒位置との関係を示した図である。比重の関数である一組の特性曲線が記憶手段 2 5 0 に記憶される。



補正回路 236 は、検出された流量を代表する信号を送信機 204 から受け取り、検出された流量に対応する、格納されている位置を、検出された位置と比較する。補正回路は、演算増幅器加算点技術を利用して、実際に検出された位置と、検出された流量に基づいて予測された位置との偏差に応じてコマンド出力 231 を補正する。このモードでは、プロセス変数を要求したり受け取ったりするために必要な時間が位置制御装置の空気圧のための応答時間に比べて長くなると、位置制御装置の有効帯域幅は少なくなるかもしれない。例えば 600ms というような、非常に長い伝送遅延を招く装置では、位置制御装置の帯域幅は必然的に狭くなる。しかしながら、フィールドバス (Fieldbus) のような通信プロトコルでは、要求および検索時間として 1ms しか必要としないので、目標位置制御装置の帯域幅としては、12~20Hz が確保される。

格納される 2 番目の特性はバルブ 214 の位置対トルクの関係である。位置制御装置は本質的に非線形要素であるので、トルクと位置との関係が直線的とならない領域ではバルブ位置の制御が難しい。いくつかのロータリーバルブでは、トルクと位置との関係は非直線的というよりも、むしろ非単調的

である。図 5A は、図 5B に示したような、パイプ 402 内に装備された回転バルブ 400 の、トルクと移動角距離との関係例を示した図であり、曲線 404 はバルブを開く際のトルクを移動角距離の関数として表しており、曲線 406 はバルブを閉じる際の特性を表している。この特徴によって得られる精度は、特に中心動作点のまわりを回転する制御弁に有用である。なぜなら、これらのバルブは、バラバラで相互に関係のない動作特性の間で連続的に切り替えられ、制御に関して特別の問題を抱えているからである。

このモードでは、補正回路 236 は単位距離 (弁棒式バルブの場合) または単位角度 (ロータリーバルブの場合) だけバルブを動かすのに必要とされるトルク信号を受信し、これを、現在の検知位置または角度において必要とされる、格納されている力と比較する。補正回路 236 は、実際に検出された位置に対する、検出された力に基づく予測位置の偏差に基づいてコマンド出力 231 を補正する。格納される 3 番目の特徴は、測定されたトルクとバルブ 214 の流量特性との

関係である。このモードでは、補正回路 2 3 6 は、ロードセル 2 4 2 から伝送された検出トルクを、所望の流量  $Q$  における格納済のトルクと比較し、両者の偏差に基づいてコマンド

出力 2 3 1 を補償する。

時間が経過してバルブパッキング 2 4 4 が劣化し、弁座 2 4 6 からリークを始めると、これらによって、位置の関数としてのバルブ流量が変化する。このモードでは、初期の流量対位置の特性曲線が前記したように記憶手段 2 5 0 に記憶されているが、これらは動的に更新される。例えば、位置と流量曲線との関係が選択されたとき、前記特性曲線上の前の動作位置を更新するために、送信機 2 0 4 から通知された、それぞれの新しい動作位置での検出流量が格納される。更新された曲線の大きな不連続部分間を補間するために、標準的な補間アルゴリズムが利用される。流量とこれに対応する検出位置出力が時間経過にともなって格納されるので、位置制御装置の動的な流量対位置特性を反映した新しい特性曲線が形成される。これらの特性曲線の、時を追った変更修正は、動的補正を格納されているトルク特性のリアルタイムでの更新と関連付けられたものとし、かつ正確な静的位置決めに必要なものとする。前述の例は流量制御のループを表しているが、温度、pH、上流および下流側のプロセス圧力、並びに動作限界でのバルブ位置（例えば、リミットスイッチ）のような、他の種々の物理変量の制御にも同様の手法がに適用で

きることは明らかである。

図 6 において、制御ループ 3 0 0 は、送信機 3 0 4、マスタ 3 0 6、位置制御装置 3 1 0、アクチュエータ 3 1 4、およびバルブ 3 1 6 によって構成され、前に図 3 に関して説明した方法と実質的に同じ方法でパイプ 3 0 2 内の流量  $Q$  を制御する。位置制御装置 3 1 0 は、受信回路 3 3 0、送信回路 3 5 8、制御回路 3 3 2、変換回路／気体圧力装置 3 3 4、検出回路 3 3 6 および診断回路 3 3 8 によって構成されている。受信回路 3 3 0 は、前記受信回路 2 2 8 と実質的に同じ方法で通信する。受信回路 3 3 0 は、バルブ特性を格納するために記憶手段 3 5

4へ1つの出力信号を提供すると共に、診断回路338で利用する検出信号を選択するために、選択用マルチプレクサ352へ他の出力信号を提供する。制御回路332は、バルブ位置を表す位置信号333および受信回路330から出力された所望のバルブ位置信号の両方を受け取ると、電氣的コマンド出力335を、回路332に記憶されているPID定数の関数として出力する。

変換回路／気体圧力装置334は、0～200PSIで供給される空気を受け入れ、標準的な電流－圧力変換技術を利用して、制御圧力312を位置制御装置ノズルから提供する。

検出回路336は、位置制御装置310のノズル出口における制御圧力312を検出するための圧力センサ340、バルブの位置を検出するために弁棒344と連結された機構部材342、力を検出するロードセル346、キャピテーションやバルブパッキングのノイズを検出する音響センサ348、およびパイプ302内の有機化学物質から発散される気化物質を検出するフューギティブエミッション (fugitive emission) センサ350と接続されている。バルブの能力に関連した物理的パラメータを検出する他のセンサとして、例えば、上流側および下流側の温度やプロセス圧力を検出するセンサや、過度の開位置および閉位置を検出するリミットスイッチや、プロセス変量を直列制御ループへ供給するセンサなどの他のセンサも付加することもできる。マルチプレクサ回路352は、回路330から受け取ったコマンドに応じて、各センサからの入力信号のいずれかを選択的に診断回路338へ出力する。送信回路358は、警報および診断データをマスタ306へ送信する。

診断回路338は、CMOS構造の低消費電力のマイクロプロセッサで構成し、バルブに関する物理的パラメータを格納する不揮発性の記憶手段354を内蔵していることが望ま

しい。特性は、ある範囲の許容値あるいは上限に関連した唯一の期待値の形である。期待値は、2線ループ308を介してマスタ306から記憶手段354へ書き込まれる。マスタ306は、典型的には制御室内に配置されたループ制御装置

であるが、“HART”（登録商標）やフィールドバス（F i e l d b u s）といった通信プロトコルによって通信する携帯用の通信機であっても良い。比較器 3 5 6 は、期待される物理的パラメータを検出された物理的パラメータと比較し、送信回路 3 5 8 へ診断出力を提供する。

診断出力は、バルブ 3 1 4 が臨界制御ループ内で不適正に位置決めされた場合のように、素早く応答するための、回路 3 5 8 を介してマスタ 3 0 6 へ送信される警報や警告であっても良いが、通常状態でマスタ 3 0 6 へ伝送されたり、あるいは保守整備が要求されたときに評価するためのポーリングに有効な値であっても良い。弁座の摩耗もバルブ漏れの一因となるので保守整備を計画する上で重要である。例えば、バルブ弁座での漏れは、急速開放バルブやバルブ位置を少し調整しただけで流量が大きく変化してしまうようなバルブにとって特に重大である。図 4 の曲線 A は急速開放バルブの特徴を表しており、漏れ量に相当する定数分だけ上方へ移動され

ている（鎖線曲線 D）。弁座漏れは、プラグ 3 5 6 が弁座 3 6 0 に完全に着座している状態で、液体が通路 3 5 3 a, 3 5 3 b 間を流れときに生じる。

漏れを評価する一つの方法は、製造時において完全に着座したバルブに対応する位置の値、あるいは最後の保守整備時における着座位置の値を記憶しておくことである。弁座 3 6 0 が摩耗するにしたがって、プラグ 3 5 6 は次第に低い位置で着座することになる。診断回路は、バルブが着座した状態で検出された位置値を、記憶されているバルブ着座位置の値と比較する。両者の差が、予め記憶されている限界値を超えていると、弁座の摩耗量がマスタ 3 0 6 へ伝送される。漏れを評価するもう一つの方法は、製造時におけるバルブ 3 1 6 のバルブ特性を、摩耗して漏れの生じた後に収集された他のバルブ特性と比較することである。図 7 において、最初の製造時、または最後の保守整備時に収集されたバルブ 3 1 6 についての位置対流量特性が符号 A の曲線で示されている。破線の曲線 B は、使用後のある時期に収集された同じ特性を表している。特性は動的に収集され、バルブが動作する各位置ごとに求められる。X 軸方向における両者の差は漏れ量を表し、これは回路 3 5 8 を介してマスタ 3 0 6 へ通知

される。

バルブのパッキングに関する不良診断も、好ましいバルブ保守のために重要である。この診断モードでは、パッキングが締め直されなければならない累積距離を表す値が記憶手段 3 5 4 内に格納される。格納された値は、移動された累積距離（ロータリーバルブの場合は、移動角度）と比較され、移動した累積距離が締め直しを必要とする距離を越えた時、回路 3 5 8 がマスタ 3 0 6 に対して診断出力を送信する。

パッキングや弁座の腐食に関する他の測定尺度は、バルブを開くために要する力の、時間経過に伴う低下である。図 8 において、曲線 A は、新品または最終のメンテナンス時のバルブのアクチュエータトルク対角距の関係を表しており、曲線 B は、その後の時期でのバルブについて同じ関係を表している。X 軸方向における両者の差は、バルブを開く際に必要な力の差を表している。両者の差が、予め記憶されている限界値よりも大きいと、アクチュエータの力に関する値がマスタ 3 0 6 へ送信される。

バルブトリム（すなわち、弁棒とケーシング組立体）の“かじり”や焼付きの発生を検知することも保守整備のスケジュールを立てる上で重要である。このモードでは、力の信号が診

断回路 3 3 8 で利用されるために選択され、力が過度であることを表す基準値と比較される。検出された力信号が、格納されている力の基準値を上回ると、力の値が回路 3 5 8 を介してマスタ 3 0 6 へ通知される。格納されている他の特性は、完全に開放または閉塞されているソレノイド弁に関するものである。これらは、ループを安全状態へ移すような臨界制御の用途においては、普通のことである。ソレノイドバルブは長期間使用しないと動かなくなってしまう傾向にある。このモードでは、制御回路 3 3 2 が開位置コマンドおよび閉位置コマンドを、プロセスが応答できるレートよりも早いレートで交互に送出する。この結果、ソレノイドバルブは必要ときに動作できるようになる。検出回路 3 3 6 内で検出された位置信号によりソレノイドが非応答であることが判明すると、診断メッセージがマスタ 3 0 6 へ送信される。

格納されている他の特性は、製造直後または前回のバルブ使用期間中に測定された化学エミッションの濃度レベルである。このケースでは、診断回路 338 はエミッションセンサ 350 からの出力信号を受信し、有機化学物質の濃度が、格納されている上限値を越えると、この濃度値がマスタ 306 へ送出される。その代わりに、化学的濃度を表す値がマスタ

306 へ送出されても良い。弁棒およびケーシング組立体（すなわち、バルブトリム）のキャビテーションや完全性をも本発明によって診断することができる。音響センサ 348 によって検出された周波数スペクトルが、パイプ 302 内でのキャビテーションノイズまたはバルブトリムからのノイズを表す、格納された周波数スペクトルと一致したとき、キャビテーション値またはトリムの摩耗値が回路 358 を介してマスタ 306 へ通知される。トリムの振動が 5～200 Hz の範囲で発生するのに対し、キャビテーションノイズは 10 MHz 以上の周波数で発生するので、より低い周波数で他のパイプから発生しているノイズと容易に区別することができる。

アクチュエータの部品の破損も診断することができる。このモードでは、コマンド出力 335 が変化したときに検出されている位置信号が一定になる場合に、アクチュエータのダイアフラムの破裂、弁棒の損傷または供給圧力の閉塞が認識される。診断回路 338 は、コマンド出力 335 が予定時間以上にわたって予め設定された量だけ変化しているにもかかわらず、検出された位置信号が一定であるときに、警報または警告を送る。

温度（熱的）履歴も、例えば位置制御装置内の電子部品の

ように、しばしば故障したり修理に時間を要するようなバルブの部品の予防的な保守整備の計画立案の手助けとなる。このモードでは、診断回路 338 は異なったカテゴリの熱的事象を記憶手段 354 に記録し、このデータを回路 358 を介してマスタ 306 へ提供する。例えば、ある位置制御装置の部品では、相対湿度 100%、華氏 150°F の環境で動作させたときに“故障が発生する平均時間”（MTBF）として 1.9 年が予測されている。保守整備は、前回の保守整備

からMTBFの1.9年が経過する前に計画されることができる。

データは、記憶手段354のほんの一部分のみしか利用しないように計算された特定の時間間隔で格納されて転送(upload)されるので、記憶手段354の僅かな部分だけがこの機能に専有されるに過ぎない。新たに格納されるデータは前のデータに上書される。位置制御装置310も現場装置上での記録装置(データロガー)として機能する。このモードでは、プロセスの動特性および位置制御装置の応答を記録するために、回路338は短い期間だけの関連プロセス変数を取り込む。記録された情報は、プロセスのモデル構築およびプロセスの異常収集のために回路358を介してマスタ

306へ転送される。プロセスと位置制御装置の動特性はいずれも類似した記録モードにあるので精密なモデル構築が可能である。バルブの保守整備時における状態変数は、転送および保守整備の計画のために記録される。

位置制御装置内での適当なバネ予荷重力を設定するためにベンチセット動作が実行される。通常の動作では、バルブが制御対象のプロセスに合わせて精密に構成されるように、ストローク位置(すなわち、100%の位置)、ゼロ位置(0%の位置)、限界停止およびアクチュエータバネのステイフネスに関しては初期設定が必要である。このプロセスは、検出された弁棒の位置および検出された制御圧力がオペレータにとって利用できないので、反復的であって時間を浪費し、従来技術の位置制御装置では、通常完了するまでに1ないし4時間を要した。

本発明では、ベンチセット動作は従来技術よりも更に効率が良く精密である。図9では、位置制御装置500はベンチセットモードで動作し、このとき位置制御装置500は、アクチュエータ504とは機械的に接続されているがプロセスからは切り離されたバルブ筐体502と機械的に連結されている。位置制御装置500はベンチセットコマンドを携帯用

通信機508から受信し、ベンチセットするパラメータを携帯用通信機508へ転送するが、携帯用通信機508の代わりに適正に構成されたパソコンを用いても良い。

2線ケーブル522に接続された受信回路520は、通信機508から受け取ったコマンドを解釈し、これを、ベンチセット制御回路526および送信回路528に接続された共通バス524へ送出し、ベンチセットデータをマスタ508に通信可能なフォーマットに変換する。制御回路526は、アナログ回路でも実現可能であるが、不揮発性の記憶手段530を内蔵したCMOSマイクロプロセッサで構成されるのが望ましい。制御回路526は、既知のI/P技術を利用して制御圧力を発生する変換回路/気体圧力装置542へ電気的なコマンド出力を提供する。検出回路532は、位置センサ536を介してバルブ502内での弁棒534の位置を検出し、圧力センサ538は制御圧力540を検出する。

ベンチセッチ動作の最初の段階では、アクチュエータ504を切り離して摩擦力の影響を取り除いた状態で、バネ506のバネ定数が演算される。オペレータは、バルブ502のみに位置制御装置500が接続された状態で、ベンチセットコマンドを受信回路520を介して回路526へ送

出する。次いで、オペレータは、受信回路520を経由して制御回路526で使用される所望の初期制御圧力 $P_0$ および最終制御圧力 $P_{100}$ をマスタ508から入力する。制御回路526は、検出された位置信号を表示させるために、この位置信号を送信回路528を介してマスタ508へ送る間に、気体圧力装置542に指示して圧力を $P_0$ と $P_{100}$ の間で変化させる。制御回路526は、圧力 $P_0$ および $P_{100}$ に対応した検出位置を格納し、これらを記憶手段530へ格納する。バネ定数 $K_S$ は次式に基づいて回路526で演算される。

$$K_S = \{ (P_S - P_R) A_E - F_S - F_D \} / (Y_S - Y_0)$$

ここで、 $Y_S$ は100%ストローク時のバルブ位置、 $Y_0$ は0%ストローク時のバルブ位置、 $A_E$ はダイアフラムの実効面積、 $P_S$ は100%ストローク時の制御圧力、 $P_R$ は0%ストローク時の制御圧力である。精細な制御が要求される場合には、バネ定数は空気バネ定数を用いて同様に演算される。バルブ502をアクチュエータ504へ接続した後、摩擦力およびバネ506の予荷重力が測定される。オペレータ



は、0%および100%の行程（ $Y_0$ および $Y_{100}$ ）に対応する弁棒の位置、装置内のライン圧力 $P_L$ 、および弁プラグが着座した後でバルブ502に加えなければならない圧力の大きさに関連した弁座圧力の安全係数 $S_M$ を入力する。

位置制御装置500を0%の行程から100%の行程まで変化させ、さらに0%の工程に戻すための制御信号を、回路526が気体圧力装置542へ送信している間に、検出された制御圧力は各位置ごとに記憶手段530へ格納される。 $P_M$ は弁棒が摩擦力に打ち勝って動き始める直前の制御圧力、 $P_R$ は弁棒が動いた直後の制御圧力、 $P_D$ は閉位置方向に移動する弁棒の25%のスパン位置における制御圧力、 $P_U$ は完全に開いた位置方向に移動する弁棒の75%のスパン位置における制御圧力、 $F_i$ は0%位置でサンプリングされたバネの予荷重である。圧力センサ538の出力をアクチュエータダイアフラムの面積 $A_E$ で除算することによって、力信号 $A_E$ は最もコスト上有利に、かつ効率的に収集されるが、その代わりに、図示しないロードセルから出力されるようにしても良い。

次に、回路526が次式で表される静止摩擦力 $F_S$ および

弁棒の動きに逆らう運動摩擦力 $F_D$ を演算して格納する。

$$F_S = (P_M - P_R) A_E - F_D$$

$$F_D = (P_D - P_U) A_E / 2$$

従来技術の位置制御装置のベンチセット動作のなかで最も時間を要し、繰り返しの多い部分は、バネ506の力を変化させる弁棒上のナット544を手動で調節することによってバネ予荷重を設定するオペレータの作業である。アクチュエータおよび弁に接続されている位置制御装置の力バランスの等式は導き出すことができ、また、所望の位置に対する解 $Y_S$ を求めることができる。回路526内で演算される等式は以下の通りである。

$$Y_S = \{ F_f + F_i + P_L A_V - A_A (P_0 - P_{100}) \} / K_S + Y_0 - Y_{100}$$

ここで、 $A_A$ （アクチュエータダイアフラムの実効面積）

以外の全符号は前に定義された通りである。量 $Y_S$ は、特定の制御圧力およびこ

れに相応する弁棒の位置で必要な予荷重を得るためにナット５４４が位置決めされなければならない所望の弁棒位置である。ナット５４４を手動調整している間中、検出された位置信号は送信回路５２８を介して通信機５０８へ送信され、要求されている弁棒の移動行程調整のパーセンテージとして表示される。

本発明は好ましい実施例を参照して説明されたが、当業者は本発明の精神および範囲から逸脱することなく形式や詳細の変更ができることを認識できるであろう。



-27-

【図2】

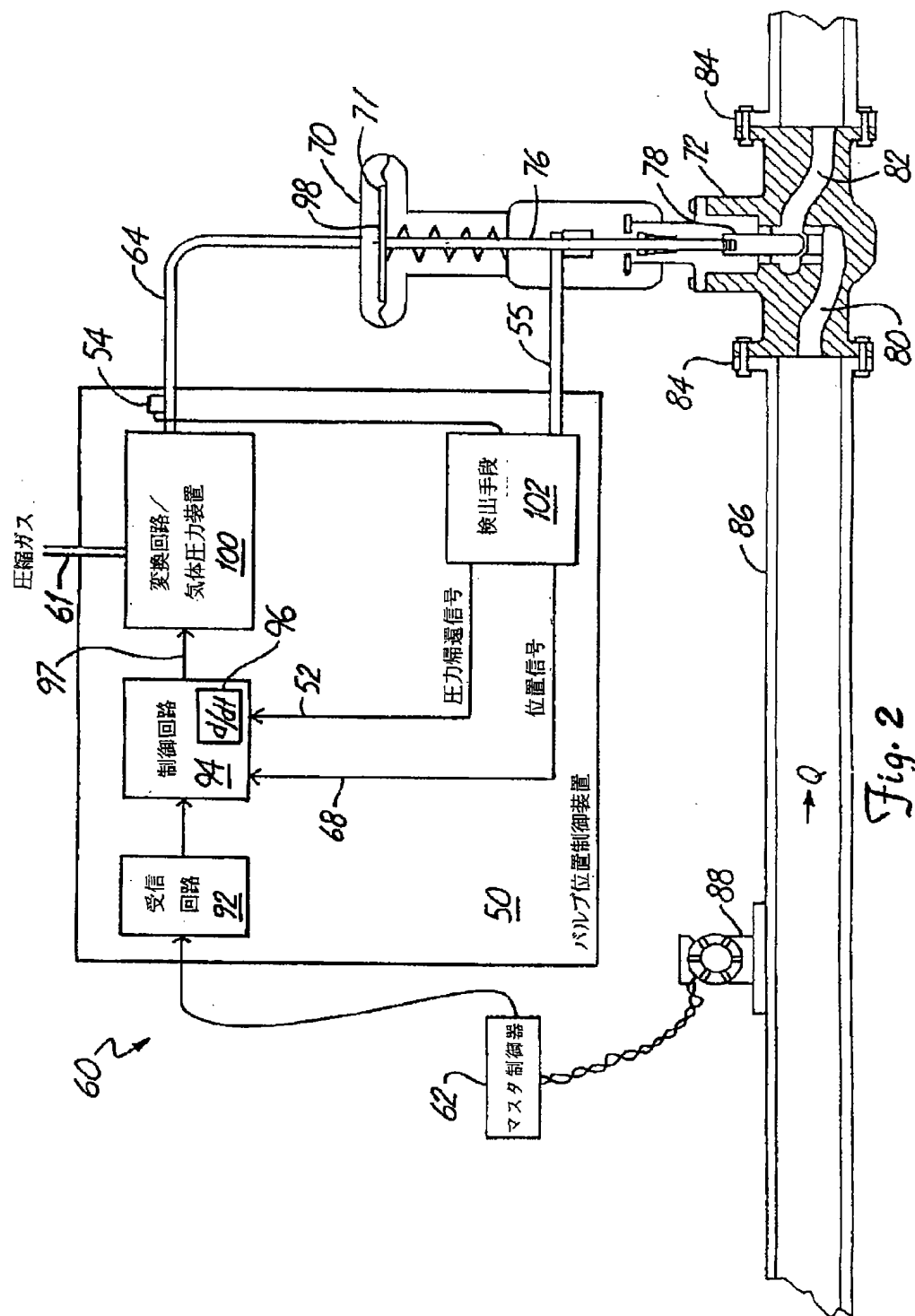


Fig. 2

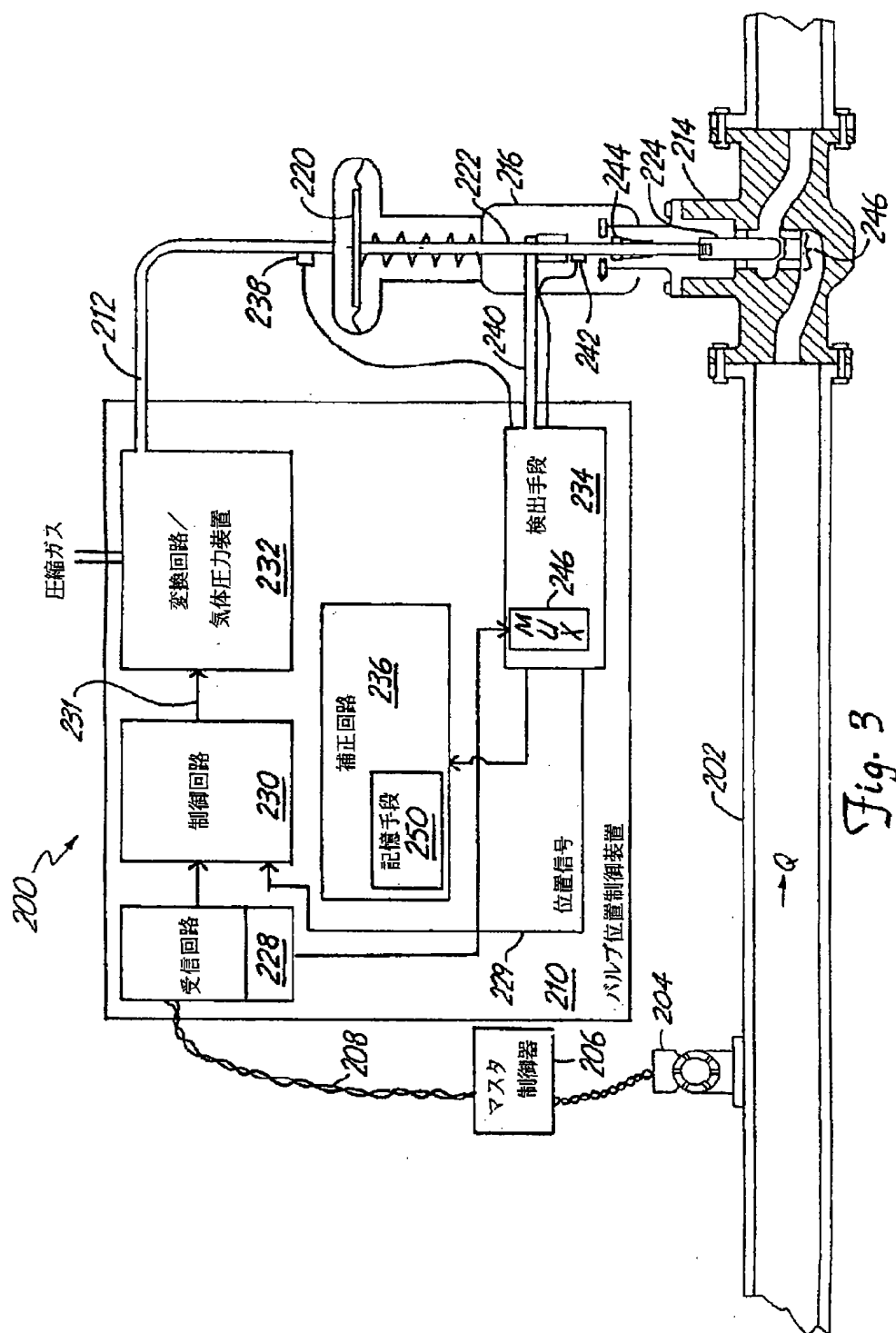
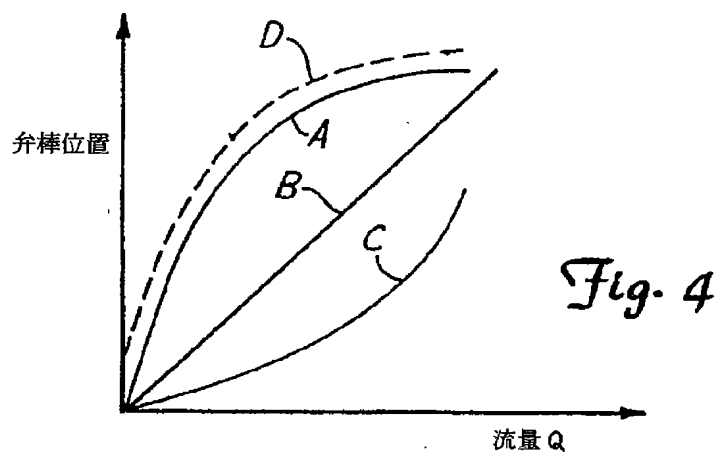
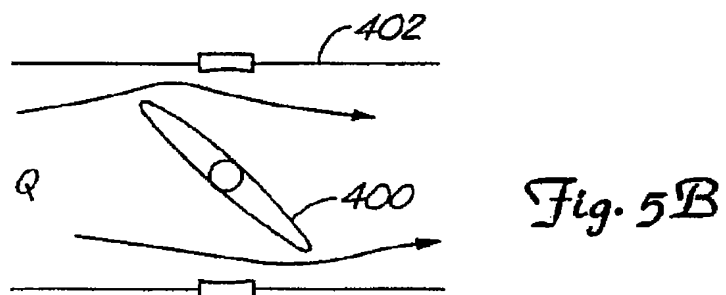
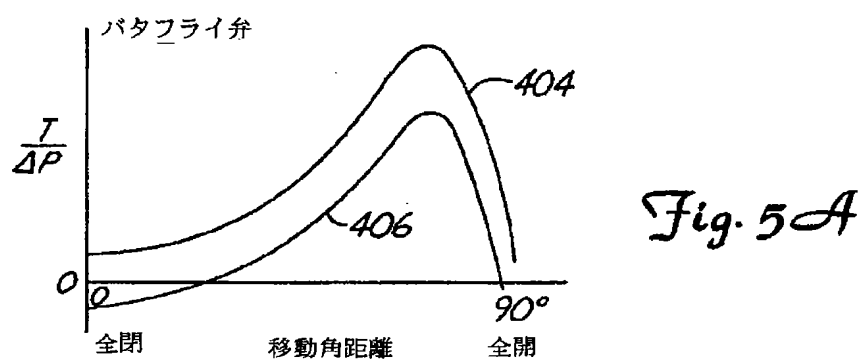


Fig. 3

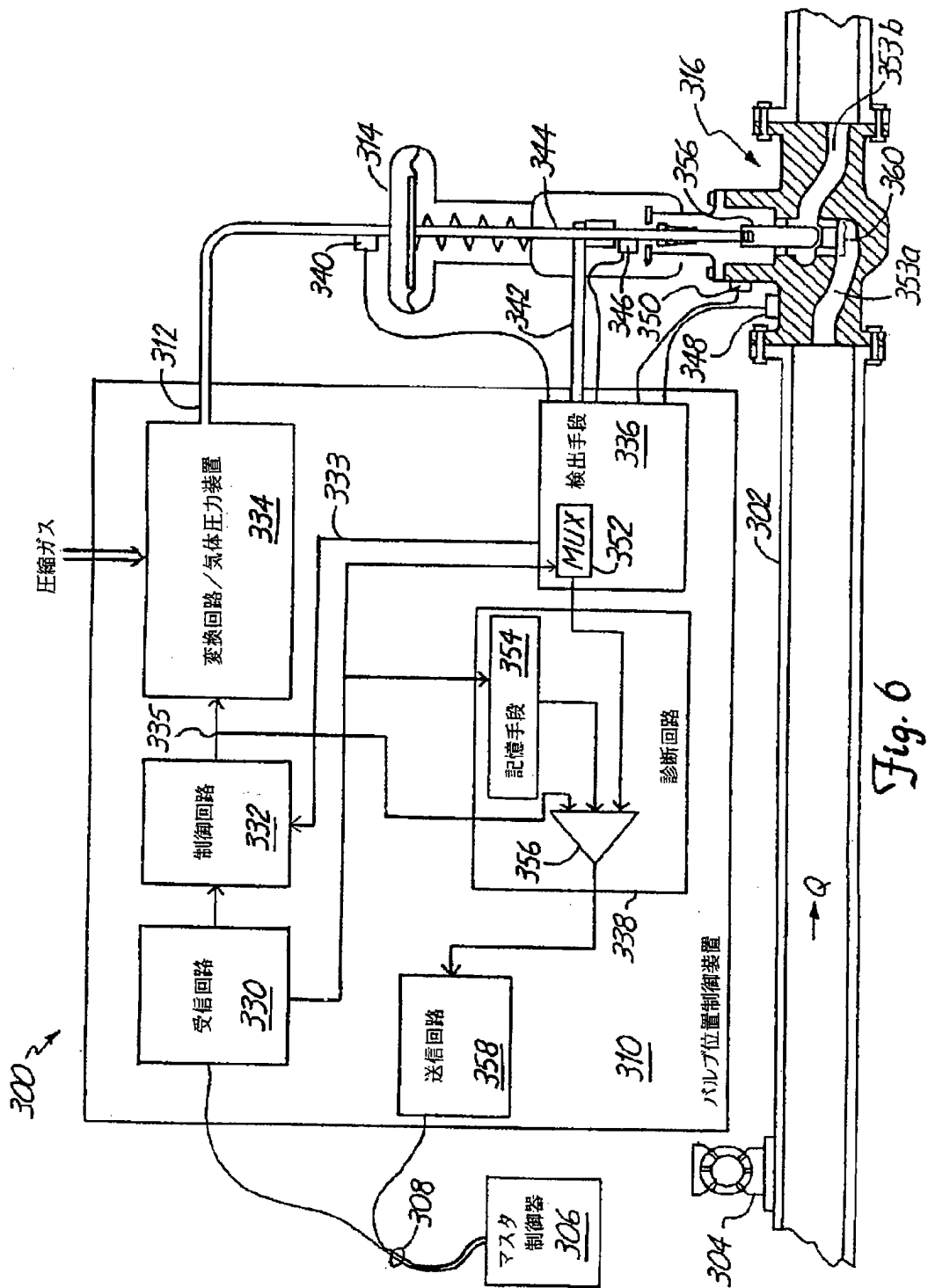
【図4】



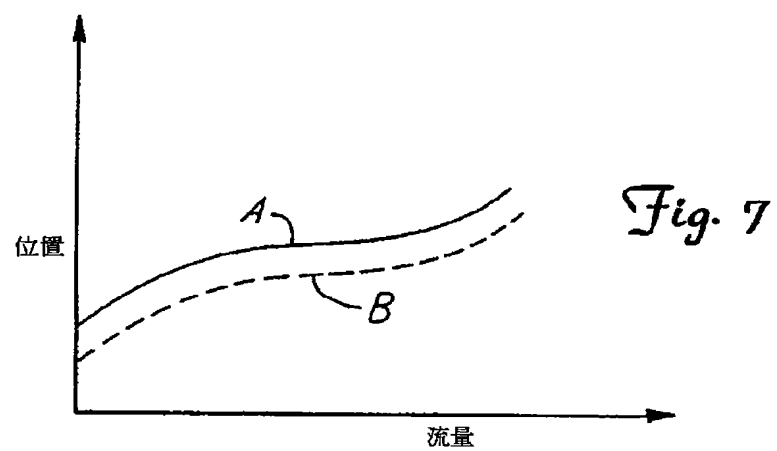
【図5】



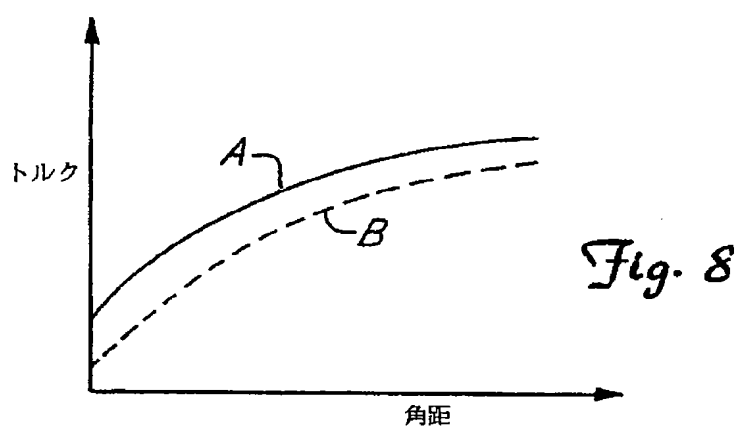
【図6】



【図 7】



【図 8】





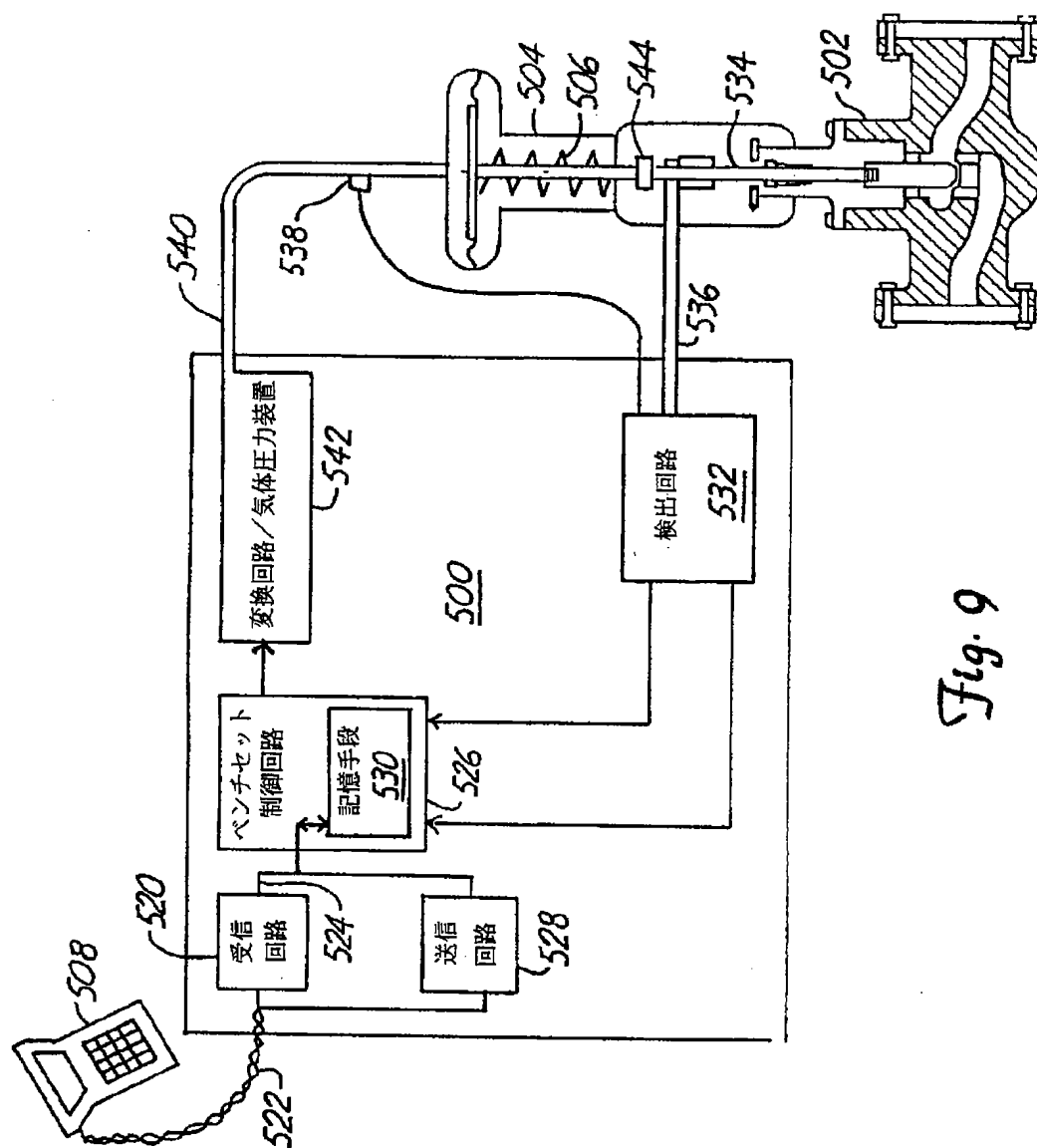


Fig. 9

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US 94/07914

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G 05 D 16/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC 6		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
G 05 D, F 15 B, G 01 F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US, A, 4 585 029 (HARDING) 29 April 1986 (29.04.86), figs; abstract; column 2, lines 24-66; column 3, line 16 - column 4, line 24.	1, 2, 8, 9, 11, 13, 22
A	figs; abstract; claims.	7, 12, 14-18, 24, 25
Y	US, A, 4 672 997 (LANDIS) 16 June 1987 (16.06.87), fig. 1-6; abstract; column 3, lines 40-63.	1, 2, 8, 9, 11, 13, 22
A	figs; abstract; claims.	7, 14-17, 24, 25
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 21 November 1994		Date of mailing of the international search report 14.12.94
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5813 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer KRAL e.h.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No  
PCT/US 94/07914

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, A, 4 164 167 (IMAI) 14 August 1979 (14.08.79), fig. 4,6,8; abstract; column 7, line 64 - column 9, line 54. --	1,3-8, 10, 13-16, 22-25
A	US, A, 2 769 943 (MATTHEWS) 06 November 1956 (06.11.56), figs; column 4, lines 4-7. ----	1,4,7, 8,11, 13

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

---

フロントページの続き

(72)発明者 ウォリアー, ジョゲシュ  
アメリカ合衆国 55317 ミネソタ州、チ  
ャンハッセン、フロンティア トレイル  
7423